

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-133280
(P2000-133280A)

(43) 公開日 平成12年5月12日 (2000.5.12)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	ページコード* (参考)
H 0 1 M 4/86		H 0 1 M 4/86	T
8/12		8/12	

審査請求 有 請求項の数12 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願平11-292502	(71) 出願人	599130896 ソフカンパニー アメリカ合衆国 ユタ州 84119 ソルト レークシティ ウェスト 900 サウス 2425
(22) 出願日	平成11年10月14日 (1999. 10. 14)	(72) 発明者	シンガラヴェル エランゴヴァン アメリカ合衆国 ユタ州 84094 サンデ ィー サウスドライクリークロード 11562
(31) 優先権主張番号	0 9 / 1 7 4 9 9 5	(74) 代理人	100097928 弁理士 岡田 数彦
(32) 優先日	平成10年10月19日 (1998. 10. 19)		
(33) 優先権主張国	米国 (U S)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高性能固体酸化物燃料電池用アノード

(57) 【要約】

【課題】 触媒活性が高められており、長期安定性の向上したドーパドセリア含有サーメットを使用した固体酸化物燃料電池用アノードを提供する。

【解決手段】 第1の金属を有する第1成分と、当該第1成分の第1の金属の粗粒化を防止する手段を有する第2成分と、アノードの電気化学的特性を高める手段を有する第3成分とから成る固体酸化物燃料電池用アノード。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の金属を有する第1成分と、当該第1成分の第1の金属の粗粒化を防止する手段を有する第2成分と、アノードの電気化学的特性を高める手段を有する第3成分とから成る固体酸化物燃料電池用アノード。

【請求項2】 第1成分がセリアから成る請求項1に記載のアノード。

【請求項3】 第1の金属がニッケルである請求項1又は2に記載のアノード。

【請求項4】 第2成分が、酸化トリウム、酸化ジルコニウム、酸化マグネシウム及び酸化タングステンから成る群より選択される請求項1～3の何れかに記載のアノード。

【請求項5】 第3成分がプラセオジウム又はコバルトから成る請求項1～4の何れかに記載のアノード。

【請求項6】 第3成分が、更に、アノードのイオウ劣化を防止する手段を有する請求項1～5の何れかに記載のアノード。

【請求項7】 第1の金属を有する第1成分と、当該第1成分の第1の金属の粗粒化を防止する手段を有する第2成分と、アノードのイオウ劣化を防止する手段を有する第3成分とから成る固体酸化物燃料電池用アノード。

【請求項8】 第3成分が、プラセオジウム又はコバルトから成る請求項7に記載のアノード。

【請求項9】 第1の金属を有する第1成分、当該第1の金属の粗粒化を防止する手段を有する第2成分およびアノードの電気化学的特性を高める手段を有する第3成分によってアノード材料を形成する工程と、当該アノード材料を電解質基板と関連させる工程とから成る固体酸化物燃料電池用アノードの製造方法。

【請求項10】 前記アノード材料形成工程が、第1及び第2成分から成るアノードを製造する工程と、第3成分を導入する工程と、製造されたアノードを第3成分により還元する工程とから成る請求項9に記載の方法。

【請求項11】 第3成分導入工程が、第1及び第2成分から成るアノードに第3成分を含浸させる工程を含む請求項10に記載の方法。

【請求項12】 第1の金属を有する第1成分、当該第1の金属の粗粒化を防止する手段を有する第2成分およびアノードのイオウ劣化を防止する手段を有する第3成分によってアノード材料を形成する工程と、当該アノード材料を電解質基板と関連させる工程とから成る固体酸化物燃料電池用アノードの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は固体酸化物燃料電池用アノードに関し、詳しくは、長期安定性の向上したドーブドセリア含有サーメットを使用した固体酸化物燃料電池用の多孔性アノードに関する。本発明は、さらに、

上記固体酸化物燃料電池用の多孔性アノードの製造方法にも関する。

【0002】

【従来の技術】近年、固体酸化物燃料電池（SOFC）に関する研究が進められている。SOFCは、将来の電力発生源及び共同発生源の要件に見合い、地球環境に優しい電池である。ジルコニア電解質を使用する現在のSOFCは、900～1000℃の温度で作動する。このような温度では、ある種の材料が劣化し、特に、アノード構造が損なわれる。

【0003】SOFCにおいては、サーメットアノード、即ち、イットリウム安定ジルコニアセラミック（cer）及びニッケル金属（met）の混合物が用いられる。Ni相は、アノード内に導電路を形成し、ジルコニア相は、イオン伝導路を形成すると共に、アノードの嵩熱膨張係数を低減してイットリウム安定ジルコニアの熱膨張係数に近づける。

【0004】他の従来公知のアノード組成としては、サーメット内のジルコニアをドーブド（doped）セリアで置換したものが知られている。ドーブドセリアは、通常のアノード雰囲気中で酸素イオン伝導率を実質的に維持したままで導電量を著しく増大させることが出来る。このように、イオン・電子混合伝導性セリア相の存在によって、気相、導電相及びイオン伝導相の重なる三重点の数密度が増大する。換言すれば、気体及び離散電子・イオン伝導体間の接触線で示される三相接触に代わって、三相境界は、気相に臨むセリアの全結晶粒子面に亘って延びている。かかるセリア含有アノード組成物は、既に公知であるが、燃料電池の長期安定性に関しては、依然Ni粒子の粗粒化に起因して問題があり、イオウ含有燃料の存在によって低下する傾向があった。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】従って、本発明の課題は、長期安定性の向上したドーブドセリア含有サーメットを使用した固体酸化物燃料電池用アノードを提供することにある。

【0006】本発明の他の課題は、ドーブドセリア含有サーメット材料の触媒活性を高めることにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明者らは上記目的を達成すべく鋭意検討した結果、特定の金属の粗粒化を防止する手段および特定のアノードの電気化学的特性を高める手段から成る固体酸化物燃料電池用アノードにより上記課題が解決できることを見出し、本発明を完成するに至った。

【0008】本発明は上記の知見に基づき完成されたものであり、その第1の要旨は、第1の金属を有する第1成分と、当該第1成分の第1の金属の粗粒化を防止する手段を有する第2成分と、アノードの電気化学的特性を高める手段を有する第3成分とから成る固体酸化物燃料

電池用アノードに存する。

【0009】第1の要旨の好ましい実施態様として、前記第1成分はセリアからなり、第1の金属はニッケルから成る。

【0010】第1の要旨の他の好ましい実施態様として、第2成分が、酸化トリウム、酸化ジルコニウム、酸化マグネシウム及び酸化タングステンから成る群より選択される。この実施態様において、第3成分はプラセオジウム又はコバルトから成るのが好ましい。更に、第3成分は、アノードのイオウ劣化を防止する手段を含むことが好ましい。

【0011】本発明の第2の要旨は、第1の金属を有する第1成分と、当該第1成分の第1の金属の粗粒化を防止する手段を有する第2成分と、アノードのイオウ劣化を防止する手段を有する第3成分とから成る固体酸化物燃料電池用アノードに存する。この実施態様において、第3成分がプラセオジウム又はコバルトから成ることが好ましい。

【0012】本発明の第3の要旨は、第1の金属を有する第1成分、当該第1の金属の粗粒化を防止する手段を有する第2成分およびアノードの電気化学的特性を高める手段を有する第3成分によってアノード材料を形成する工程と、当該アノード材料を電解質基板と関連させる工程とから成る固体酸化物燃料電池用アノードの製造方法に存する。

【0013】第3の要旨の好ましい実施態様として、前記アノード材料形成工程が、第1及び第2成分から成るアノードを製造する工程と、第3成分を導入する工程と、製造されたアノードを第3成分により還元する工程とから成る。この実施態様において、第3成分導入工程が、第1及び第2成分から成るアノードに第3成分を含浸させる工程を含むことが好ましい。

【0014】本発明の第4の要旨は、第1の金属を有する第1成分、当該第1の金属の粗粒化を防止する手段を有する第2成分およびアノードのイオウ劣化を防止する手段を有する第3成分によってアノード材料を形成する工程と、当該アノード材料を電解質基板と関連させる工程とから成る固体酸化物燃料電池用アノードの製造方法に存する。

【0015】

【発明の実施の態様】以下本発明を図面を使用して説明する。本発明は様々な実施態様が可能であるため、本発明は以下に図示された実施態様や説明に限定されない。

【0016】図1に本発明に係わるアノードを示す側立面図を示す。アノード10は、ニッケル系材料12、セリア系材料14、抑制剤16及び触媒材料18の反応生成物及び／又は混合物から成る。ニッケル系材料は、初期には、公知の酸化ニッケルから成る。種々の組成の酸化ニッケルが使用できるが、中でもニッケルの含有量がアノード容積の約30%である酸化ニッケルが好まし

い。固体酸化物燃料電池で使用するセリア系材料14としては、従来公知のものを使用できる。

【0017】抑制剤16は、加工中及びSOF C内でのアノード作動中にニッケル粗粒化を防止する働きを有する。抑制剤16としては、種々の材料が使用できるが、マグネシウム、トリウム、ジルコニウム及びタングステンの酸化物から成るのが好ましく、特に好ましくは酸化マグネシウムから成る。

【0018】触媒材料18は、アノードの電気化学的特性を向上し耐イオウ劣化性を付与する働きを有する。触媒材料18は、好ましくはプラセオジウム及びコバルト等の材料から成る。触媒材料の使用量は実施態様により異なるが、極く少量でも効果を有する。

【0019】本発明のアノードは、種々の方法によって製造することができる。例えば、硝酸塩等のニッケル及びマグネシウム液体前駆体から可焼結材料を形成することによりアノードを製造することができる。この方法に於て、他の塩を使用することも可能である。

【0020】固溶体アノードは、ニッケル及びマグネシウムの酸化物を、好ましくはセリアとカルシア、サマリウム等のドーパント酸化物とともにボールミルで粉碎し、得られた混合物を900～1,000℃で6～8時間焼成することにより製造することができる。また、米国特許第3,330,697号公報に記載されるように、液体前駆体、好ましくは硝酸塩を、エチレングリコール及びクエン酸と化学量論量で混合し、約150℃で熱分解・重合する。得られた炭分を、ボールミルで解砕した後、900～1,000℃で8時間焼成し、再粉碎して最終生成物を得る。液体前駆体としては、ニッケル及びマグネシウムの硝酸塩が例示される。こうして得られたニッケル及びマグネシウム酸化物の固溶体は、カルシア、マグネシア、ストロンチウム等のアルカリ土類元素の酸化物でドーパされたセリア、好ましくはイットリア、サマリウム、ガドリニウム等の希土類元素の酸化物でドーパされたセリアとともに、ボールミルで粉碎される。

【0021】アノードの他の製造方法としては、セリウムの硝酸塩及びドーパント元素を、ニッケル及びマグネシウムの硝酸塩と混合して、一方の相として酸化ニッケル及び酸化マグネシウムの固溶体および他方の相としてドーパドセリアを含む2相混合物を得る。合成されたアノード粉末は、市販のバインダー及びテルピネオール等の溶剤と混合することにより、スクリーン印刷に適したペースト状に加工する。次いで、ペーストを、焼結ジルコニア電解質上にスクリーン印刷した後、1,200～1,400℃で焼成する。好ましくはジルコニアと混合されたストロンチウムドーパド亜マンガン酸ランタンから成るカソードは、当該電解質の反対側に、同様にスクリーン印刷され、アノードと同時に又は別の工程で、焼結される。

【0022】また、別の電池製造法において、テープ状

アノード材料を流延成形し、これをテープ状イットリア安定ジルコニア電解質と積層した後、積層物を焼結する。当該積層物は、ジルコニア電解質の反対面に積層されたテープ状カソード材料を含んでいても良い。当該3層積層体は、形成後、共焼結される。更に別の方法では、アノードとジルコニアの積層体を共焼結した後、カソードを、スクリーン印刷法、スプレー法又は刷毛塗り法により反対側に塗布する。焼結アノード層は、通常、約10～50%、好ましくは約30～40%の多孔率

(細孔率)を有する。この段階で、触媒材料、即ち、液状のコバルト及び／又はプラセオジムの硝酸塩は、アノード材料中に含浸される。即ち、アノード材料の多孔間隙は、当該液状材料で被覆される。次いで、触媒含浸組成物は、アノード室に導入された燃料により、燃料電池内で600～900℃の作動温度で還元される。ニッケル酸化物は、燃料電池内でニッケルに還元されるが、マグネシアは、還元されずに、ニッケル中に微細に分散する。セリアは、部分的に還元され、イオン伝導性を実質的に保持したまま導電性を高める。高温下での処理によって、プラセオジム塩及びコバルト塩は、それぞれ、金属プラセオジム及び金属コバルトに変換される。金属微粒子は、ニッケル及びセリア結晶粒子中に分散する。触媒材料、即ち還元アノード中のプラセオジム及びコバルトの含有量は、通常1重量%未満であるが、これに限定されない。

【0023】かかるアノードの製造方法としては、他の製造法を用いることもできるし、また、上記方法の種々の改良方法を用いることもできる。

【0024】上記のアノードを用いて、以下の実験を行った。これら実験により、本発明に従って作製された抑制剤を用いたアノードは、従来のSOFCアノードに比して長期安定性に優れ、本発明の触媒材料を用いたアノードは、電気特性及び耐イオウ劣化性が向上していることが確認された。以下に実施例を示す。

【0025】

【実施例】実施例1：本発明の一実施態様に従って、燃料電池を製造した。本実施例のアノードは、以下のように製造された。先ず、米国特許第3,330,697号公報に記載されているように、液状前駆体を使用して、NiO及びMgOから成る固溶体を合成した。この際、ニッケル及びマグネシウムの硝酸塩溶液は、Ni:Mg比が9:1となるように混合した。当該前駆体を分解した後、得られた炭分を1,000℃で6～8時間焼成し、単相NiO-MgO固溶体を得た。当該単相の特性を、X線回折法によって分析した。次いで、固溶体粉末を、10%カルシアドープドセリアと混合し、媒体としてエタノールを使用してボールミルで2～4時間粉砕した。得られた混合物を、80℃で一晩乾燥して、アノード粉末を得た。次いで、アノード粉末、有機バインダー及び溶剤のスラリーから印刷インキを調製した。

【0026】カソードに関しては、先ず、ストロンチウムをドープしたLaMnO₃から成る印刷インキを調製した。アノード及びカソードの両方とも、直径3.5mm及び厚さ170μmを有するテープ状に流延成形された8モル%イットリアドープドジルコニア電解質の両面にスクリーン印刷することによって形成した。次いで、得られた電極を、1,200～1,300℃で15分～1時間焼結した。得られた電極の活性面積は、2.5cm²であった。次いで、プラチナワイヤーメッシュをプラチナインキを介して電極に取り付けた。プラチナメッシュは、1,000℃で1時間焼成した。最後に、ディスクのアノード側をジルコニアチューブに封着して、燃料マニフォールドを形成した。

【0027】完成電池は、800～1,000℃の範囲の種々の温度で試験した。次いで、電池に1,000℃で200mA/cm²の負荷を加えて、3,500時間の長期試験を行った。試験結果を図2に示す。図2から明らかなように、3,500時間の間に性能の劣化及び変化は特に見られなかった。その結果、本発明に従って製造されたアノードは、1,000℃の高作動温度においても安定していることが判明した。本実施例では、いかなる触媒もSOFCに添加されなかった。

【0028】実施例2：本発明に従って、ジルコニア電解質上にNi-MgO-CeO₂の複合多孔性アノードを有する燃料電池を作製した。アノード材料は、NiO、MgO及びCeO₂から成る微細固体粒子を、CaO、Sm₂O₃又は上記カチオンの硝酸塩前駆体等のドーパント酸化物と適当量を混合して調製し、少なくとも約30体積%の還元ニッケル相を有する組成物を得た。NiO:CeO₂比は、重量基準で、通常70:30～55:45である。還元アノード中のニッケルの体積%を少なくとも30%に保持するため、30モル%以下のMgOを添加し、Ni_{0.7}Mg_{0.3}Oの組成を有する固溶体を得た。通常、好ましい組成物は、式：Ni_(1-x)Mg_xO（式中、xは、0.1～0.2を表す）で示される固溶体を含有する。

【0029】酸化物の微粉碎固体粒子の適当量を、バインダー及び溶剤と混合すると、弾性化して、粘性ペーストが得られた。次いで、170μm厚の平坦ジルコニア電解質に得られたペーストをスクリーン印刷した。得られたスクリーン印刷層は、30～50μmの厚さを有していた。スクリーン印刷は、170μm厚の平坦ジルコニア電解質上に行った。

【0030】次いで、アノードペースト層を、約1,200～1,300℃の範囲の温度でバインダー、溶剤及び可塑剤を駆逐・除去するのに十分な時間焼成し、アノード材料を焼結して、当該アノード材料を電解質に接合した。MgOの大部分が、NiOと固溶体を形成したが、一部は、セリア内に移動し、また他の部分は、ジルコニア内に移動して、アノードと電解質の結合力を高め

た。

【0031】上記製造方法を用いて、2つの同一ディスク状電池A及びBを作製した。両電池ともに、Ni-MgO-CeO₂から成るアノードと、ストロンチウムドープドLaMnO₃から成るカソードを用いた。試験前に、電池Bを、プラセオジウム及びコバルト硝酸塩溶液の等モル混合物から成る触媒混合物で含浸した。両電池とも、25～30℃で湿潤した水素ガスを約25cc/分で流通させながら、試験温度まで昇温した。

【0032】図3に電池A及びBの電池電位(V)と電流の関係を示す。触媒を含浸した電池Bは、触媒未含浸の電池Aに比して、電池性能が極めて良好であった。850℃での電池Bの性能は、900℃における電池Aの性能より優れていた。

【0033】図4に電池A及びBに関する電池電力密度と電流密度の関係を示す。電池Bの電力密度ピーク値は、同一温度における電池Aの電力密度ピークのほぼ2倍であった。このように、上記触媒材料は、アノードの電気化学的特性を向上させることが分かる。

【0034】実施例3：本実施例では、実施例2と同一構成で、かつより大きな面積(5cm×5cm)を有する電池を使用して、電池積層体(以下電池スタックと称す)を作製した。より詳しくは、5つの電池を、ドープドLaMnO₃から成るセパレータープレートを紹介して積み重ねた。この電池構成は、実用化電力発生装置の小型版(スケールダウンバージョン)に相当する。同一の電池スタックを数個作製した。電池スタックの幾つかは、触媒材料を含浸したアノードを使用して作製し、他の電池スタックは、触媒未含浸のアノードを使用して作製した。図5に3つの電池スタック(その内、2つが触媒材料を用いて作製され、残る一つが触媒材料を使用せずに作製される)に関する一電池当たりの電位(V)と電流密度の関係を示す。電池スタック1では、触媒未含浸のNi-MgO-CeO₂アノードを使用し、電池スタック3及び4では、触媒含浸アノードを使用した。図5のグラフで示すように、電池スタック3及び4は、電池スタック1に比して電池性能が非常に優れており、電気化学的性能も向上していた。これら電池スタックの幾つかを一定電流密度に保持し、長期性能を観察した。その結果、触媒未含浸のNi-MgO-CeO₂アノードを用いた電池スタック1及び2は、約10,000時間安定であった。触媒含浸アノードを用いた電池スタックも、同様の安定性を示した。

【0035】図6に一つが触媒材料を用いて作製された3つの電池スタックに関する一電池当たりの電位(V)と時間(時)の関係を示す。図6に示すように、触媒含浸ディスク状電池を用いた電池スタック、即ち電池スタック3は、触媒未含浸電池スタック、即ち電池スタック1及び2に比して、より優れた低温性能を示した。試験は異なる電流密度で行ったが、図6では、比較のため、

100mA/cm²での相当電圧をプロットして示した。図示されるように、触媒未含浸のNi-MgO-CeO₂アノードを用いた電池スタック1及び2は900℃で作動し、一方触媒含浸のNi-MgO-CeO₂アノードを用いた電池スタック3は850℃で作動した。

【0036】実施例4：実施例2の電池作製に用いた方法により、2つの標準ディスク状電池を作製した。当該電池は、2.5cm²の電極活性面を有するNi-MgO-CeO₂アノードを用いて作製し、燃料流中のH₂S濃度を種々変化させて試験を行った。これら2つのボタン電池は、一方の電池のアノードに、試験前に、Pr及びCo硝酸塩溶液混合物から成る触媒材料を含浸した以外は、同様に作成した。

【0037】乾燥H₂をアノードに20cc/分の流速で流しかつ空気をカソードに流しながら、電池を1℃/分の昇温速度で800℃に昇温した。次いで、電池を、800℃、850℃及び900℃の各温度で試験した。H₂S中の電池性能評価試験では、電池温度を900℃に保持した。

【0038】次いで、H₂中、及びH₂Sを濃度5ppm及び50ppm含むH₂中のそれぞれの場合における電池性能を比較する一連の試験を行った。燃料ガス組成を変える場合には、電池を無負荷状態で45～60分放置して、前工程で使用したガス種を掃出・除去し、電池を安定化させた。一連の試験完了後、電池をH₂ガス中に戻し、200mA/cm²の一定電流負荷下に保持し、基線(ベースライン)電池安定性を求めた。第1の電池は、44時間作動させた後、濃度50ppmのH₂Sを導入した。次いで、500ppm濃度のH₂S下で試験を行った。触媒含浸電池に関しては、H₂中で96時間作動させた後、500ppmのH₂Sを導入した。

【0039】図7に燃料組成を種々変化させた場合の900℃における触媒未含浸電池の性能試験結果を示す。図から明らかなように、燃料を乾燥水素から5ppmH₂S含有水素に変えた場合、電池性能に変化はなく、50ppmH₂S含有燃料に変えた場合、僅かに性能劣化が見られた。また、500ppmを越えるH₂Sを含有する燃料を導入した場合、更に性能劣化が見られた。この試験により、Ni-MgO-CeO₂アノードは、多量のイオウ種を含有する燃料に対する短時間曝露には耐え得ることが分かる。

【0040】図8に種々のイオウ含有燃料を使用した場合における上記電池の長期性能が示す。時間経過に伴ってある程度の性能ロスが見られるが、性能の大部分は、燃料を水素に戻すことによって回復可能であった。

【0041】図9に種々の燃料組成における、900℃での触媒含浸電池の性能が示す。イオウ種の存在に伴う性能変化は、各条件下で電池性能が格段に向上していること以外は、上記の電池と同様の経過を示すことが分かる。図から明らかなように、燃料を乾燥水素から5pp

mH₂S含有水素に変えた場合、電池性能に変化はなく、50ppmH₂S含有燃料の場合、僅かに性能劣化が見られた。また、500ppmH₂Sを含有する燃料の場合、更に性能劣化が見られた。この試験により、触媒含浸Ni-MgO-CeO₂アノードが、高イオウ種類の燃料に対し短期間曝露に耐え得ること、及びいかなるイオウ濃度でも高性能を維持可能なことが分かる。

【0042】図10に触媒含有電池の長期性能を示す。詳しくは、触媒材料含有電池は、同一電流密度で150mV以上高い性能を示し、500ppmのH₂Sに合計で250時間以上曝露した際にも、0.75Vでほぼ500時間安定していた。初めに電圧の僅かな低下が見られた後は、電池性能は安定していた。水素燃料への復帰時も、電池電圧の変化は、元の電池性能の20mV（僅か2.5%の性能ロスに相当する）以内であった。このように、本発明に係わるアノードは、耐イオウ性を有し、イオウ曝露時に電池電圧の低下が少なく、H₂S含有燃料に長期間曝された場合にも、電池性能を長期間安定に保持することができる。

【0043】上記の実施例から明らかなように、本発明に従って作製された抑制剤を使用したアノードは、従来のSOFCアノードに比して長期安定性に優れ、本発明の触媒材料を使用したアノードは、電気特性及び耐イオウ劣化性が向上していることが確認された。

【0044】上記の記載と図面は、単に発明の例示であり、本発明はその要旨を逸脱することなく、種々の修正と変更を行なうことが可能である。

【0045】

【発明の効果】本発明の、固体酸化燃料電池用アノードは、触媒活性が高められ、長期安定性が向上しており、その工業的価値は高い。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係わるアノードを示す側立面図

【図2】本発明の一実施態様に従った燃料電池における電池電位（mV）と時間（時）の関係を示すグラフ

【図3】本発明の他の実施態様に従って製造された2つの燃料電池に関する電池電位（V）と電流の関係を示すグラフ

【図4】図3で使用された燃料電池に関する電池電力密度と電流密度の関係を示すグラフ

【図5】3つの電池スタック（その内、2つが触媒材料を用いて作製され、残る一つが触媒材料を用いずに作製される）に関する一電池当たりの電位（V）と電流密度の関係を示すグラフ

【図6】一つが触媒材料を用いて作製された3つの電池スタックに関する一電池当たりの電位（V）と時間（時）の関係を示すグラフ

【図7】異なる燃料組成を有し、触媒を用いずに製造された燃料電池に関する電池電圧と電流密度の関係を示すグラフ

【図8】図7の燃料電池に関する電池電圧と時間の関係を示すグラフ

【図9】触媒を用いて製造された本発明に係わる燃料電池に関する電池電圧と電流密度の関係を示すグラフ

【図10】図9の電池に関する電池電圧と時間の関係を示すグラフ

【符号の説明】

10：アノード

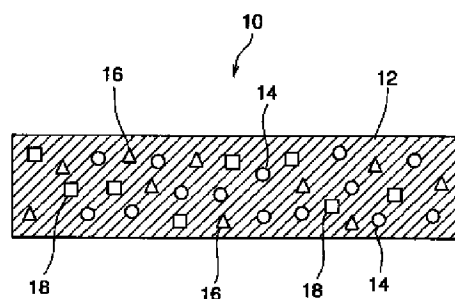
12：ニッケル系材料

14：セリア系材料

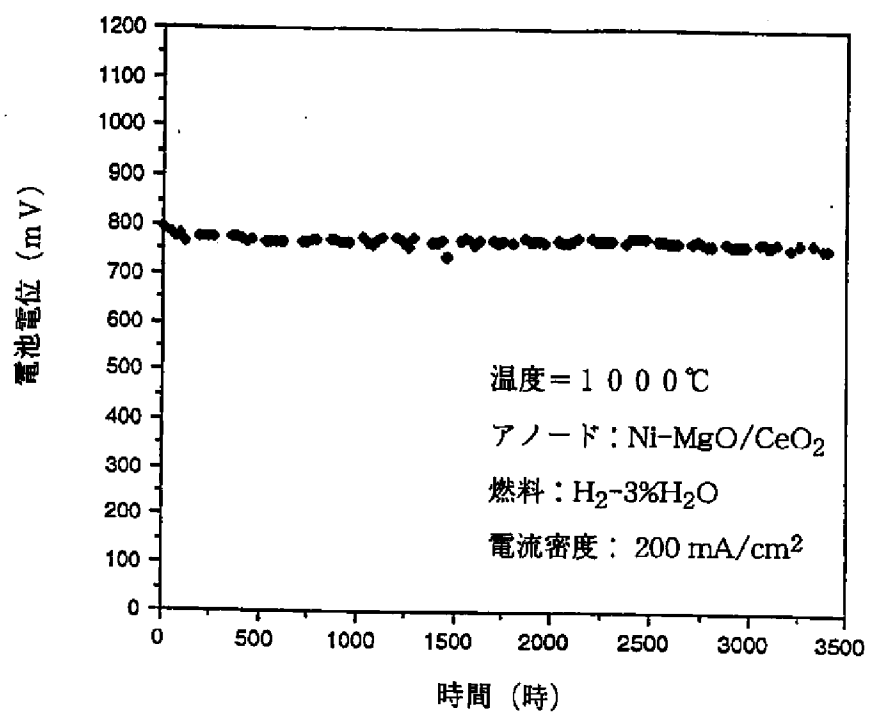
16：抑制剤

18：触媒材料

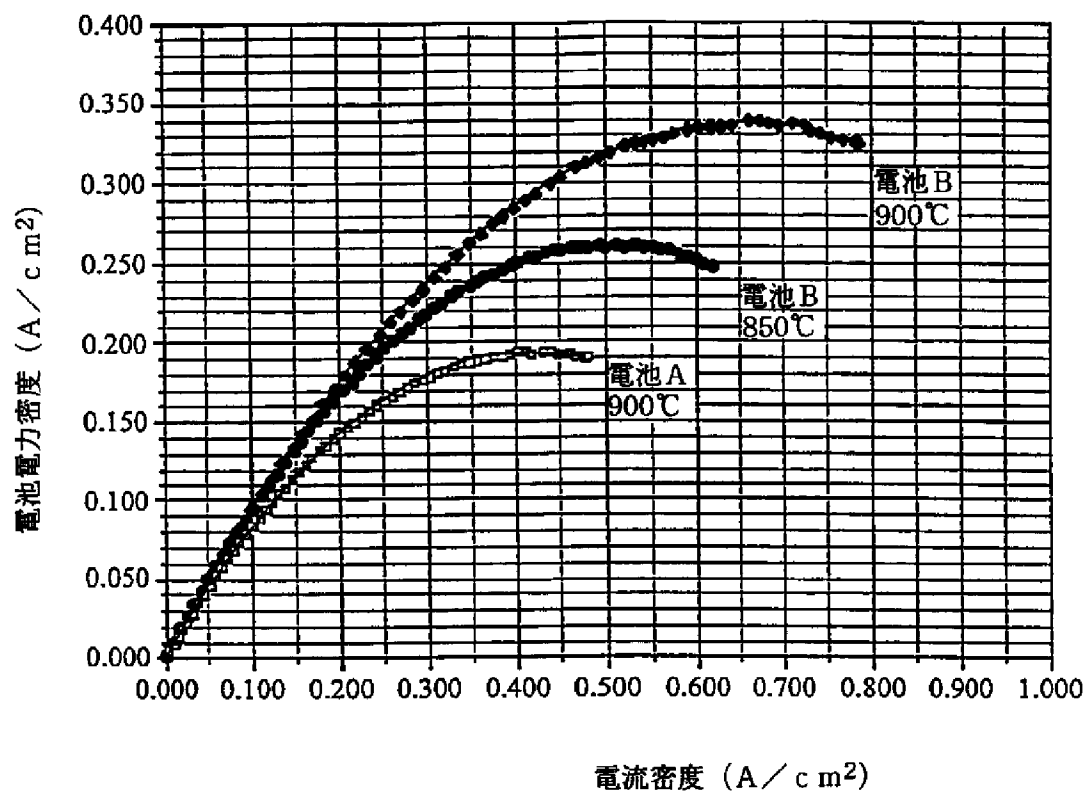
【図1】



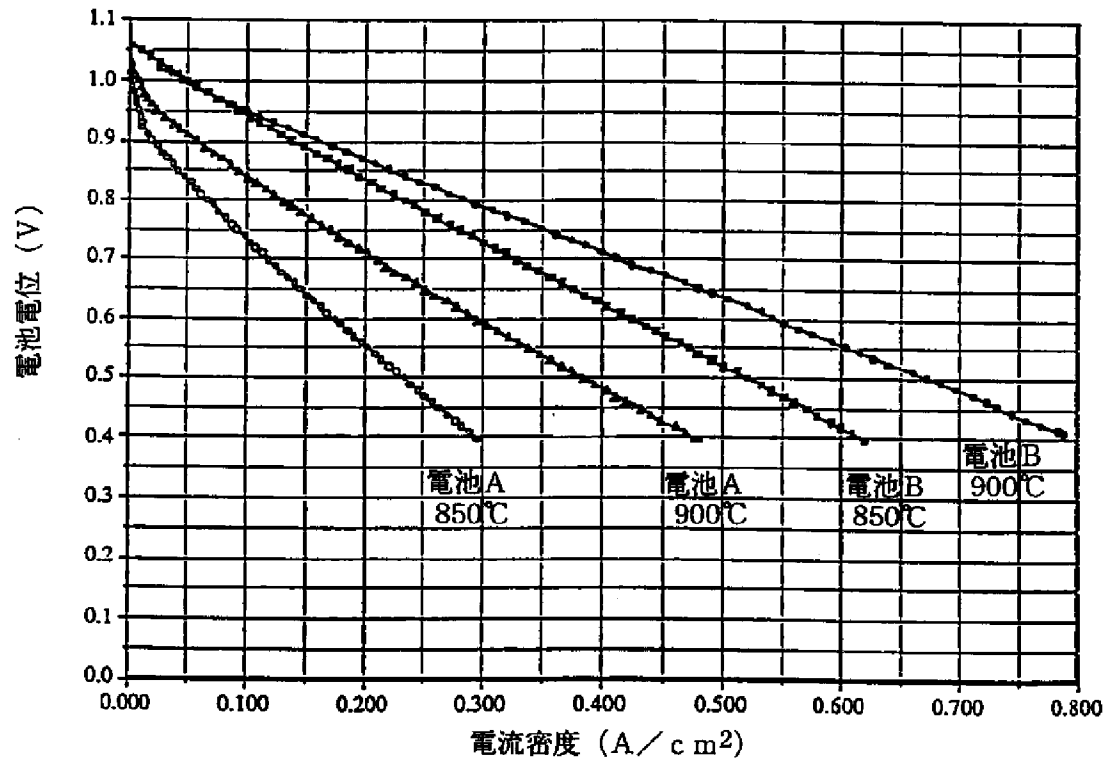
【図2】



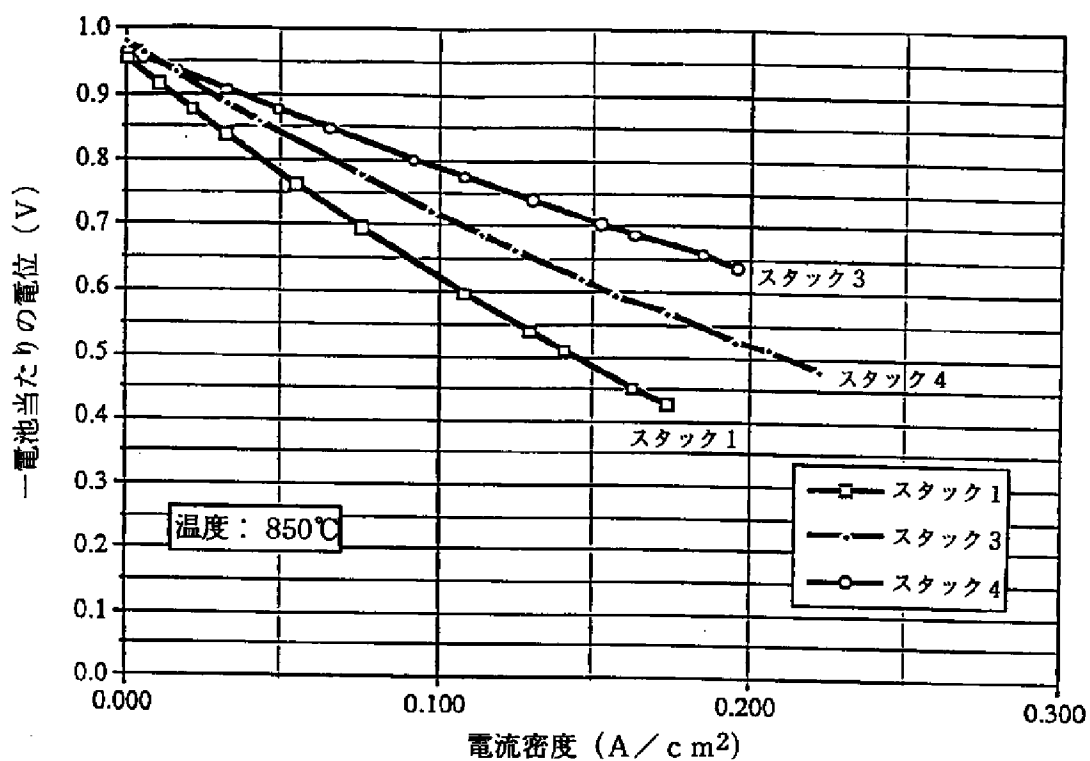
【図4】



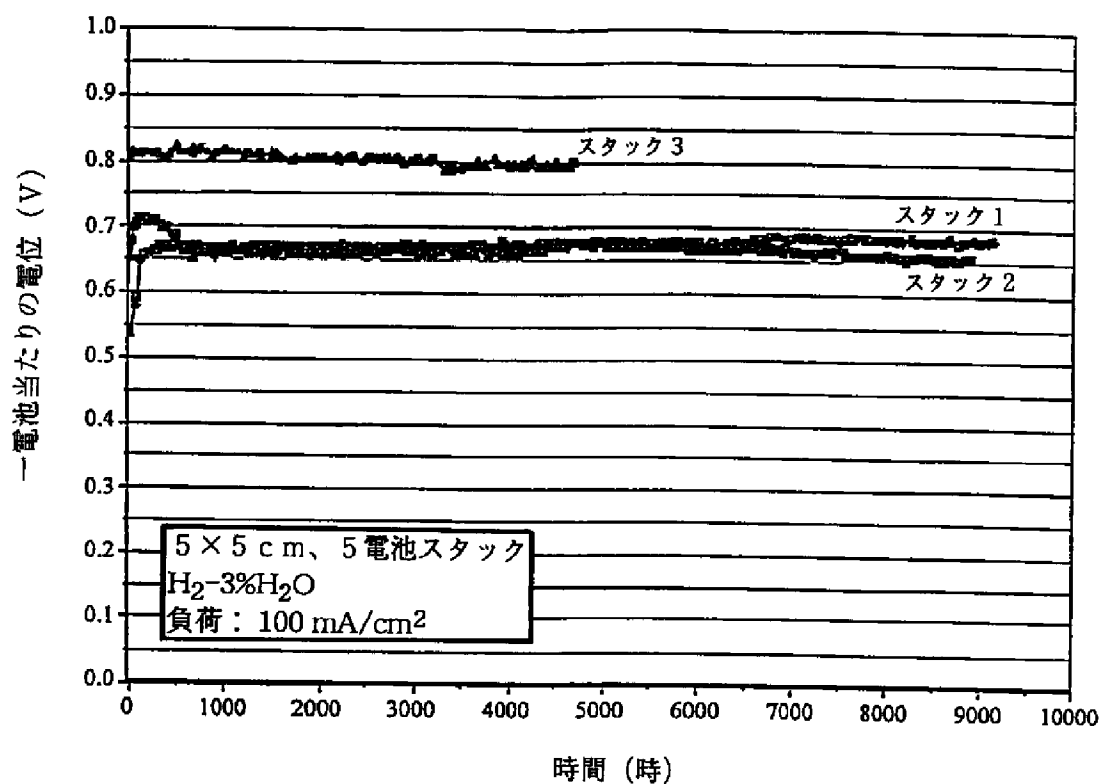
【図3】



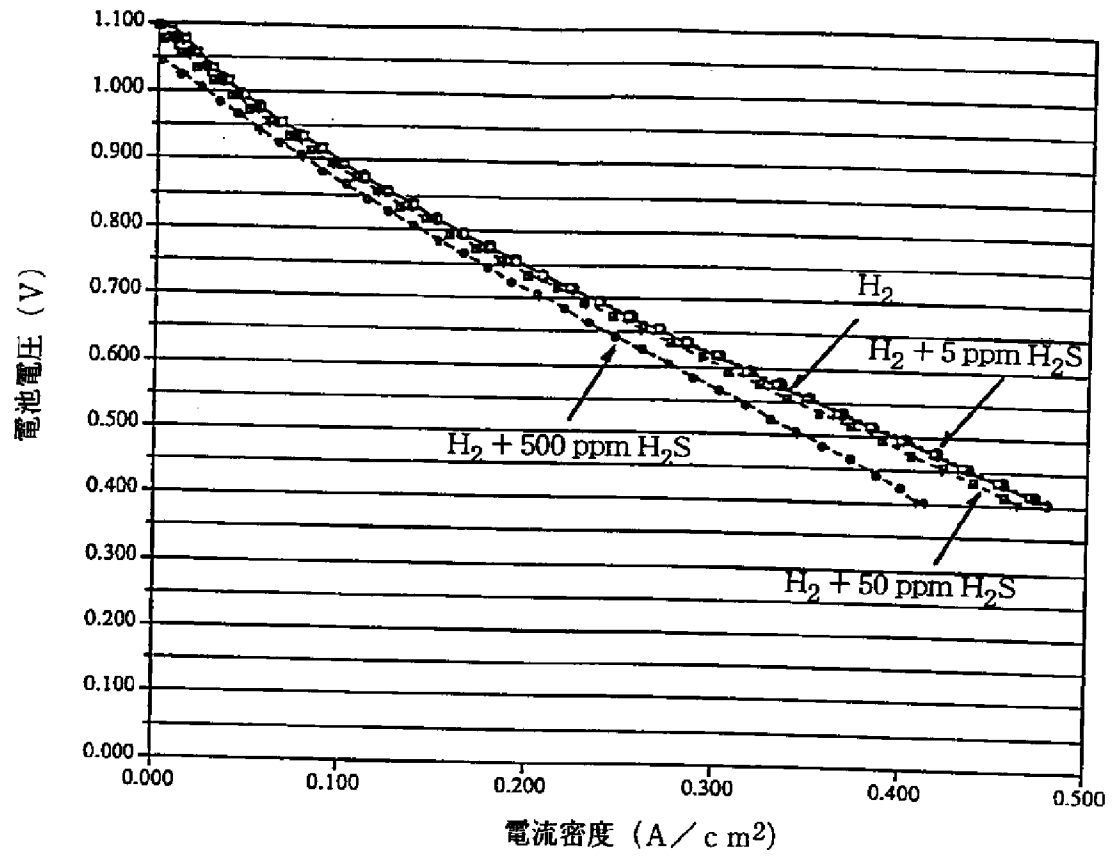
【図5】



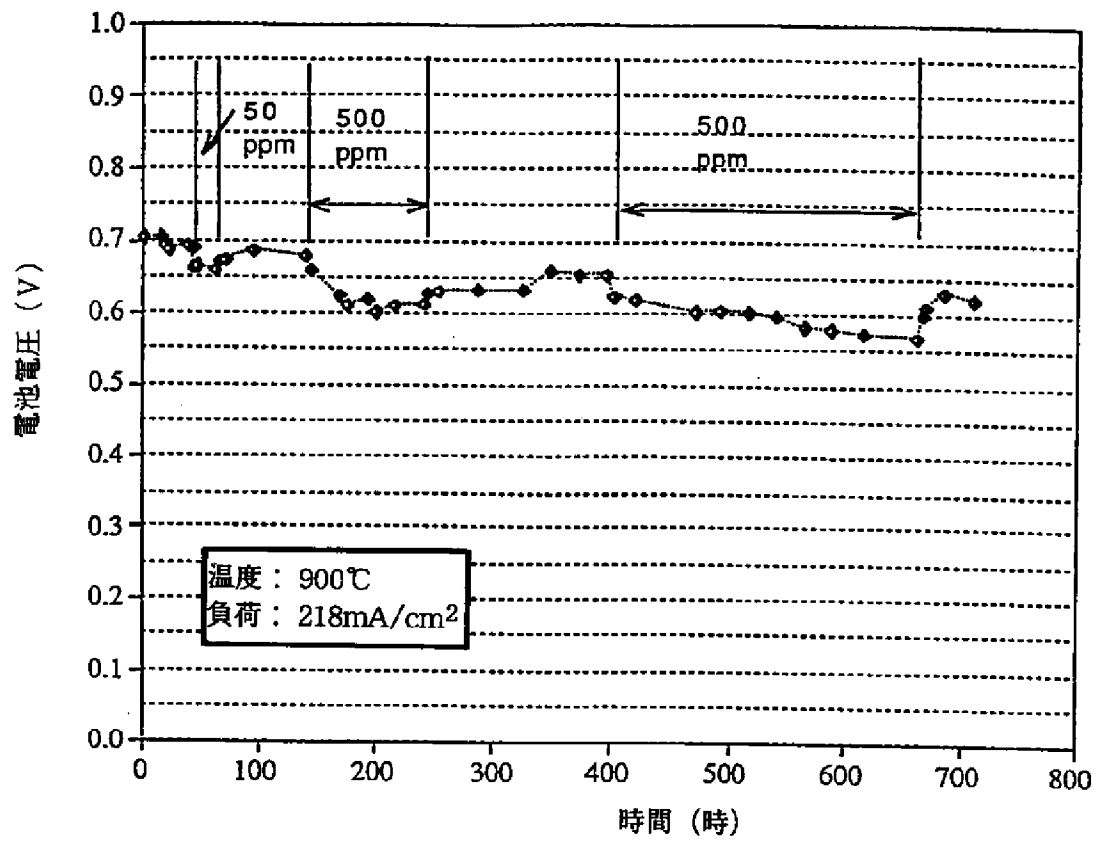
【図6】



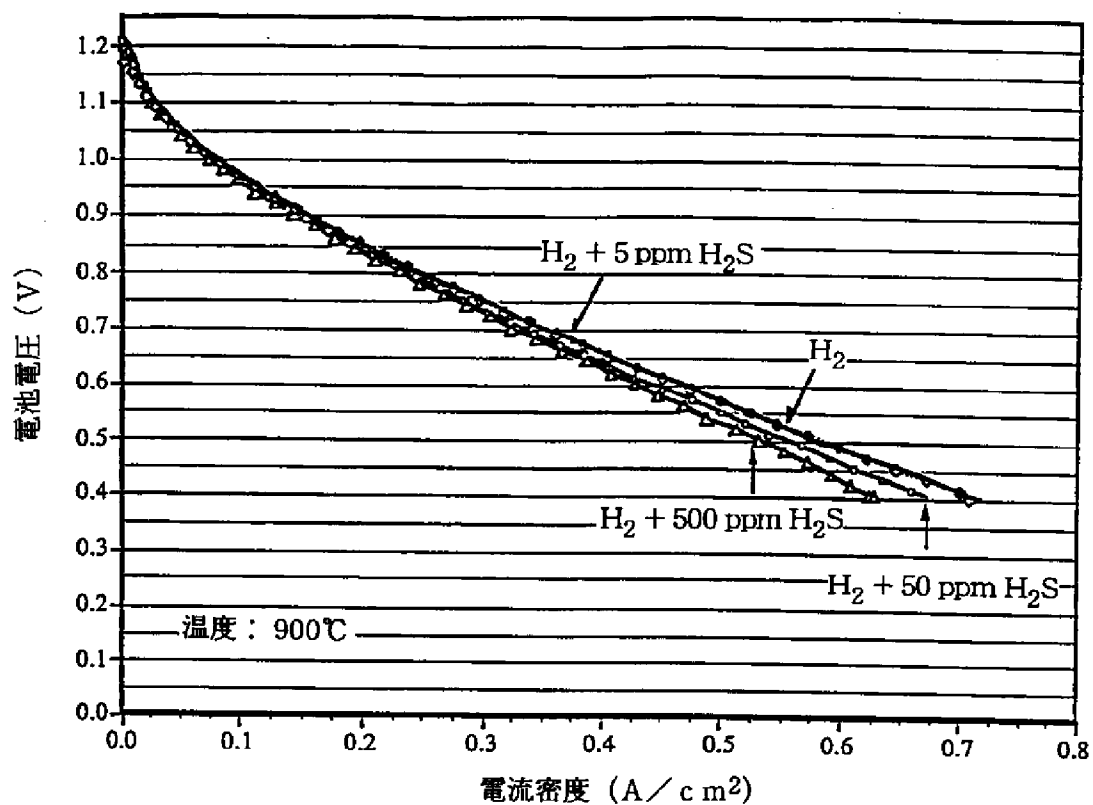
【図 7】



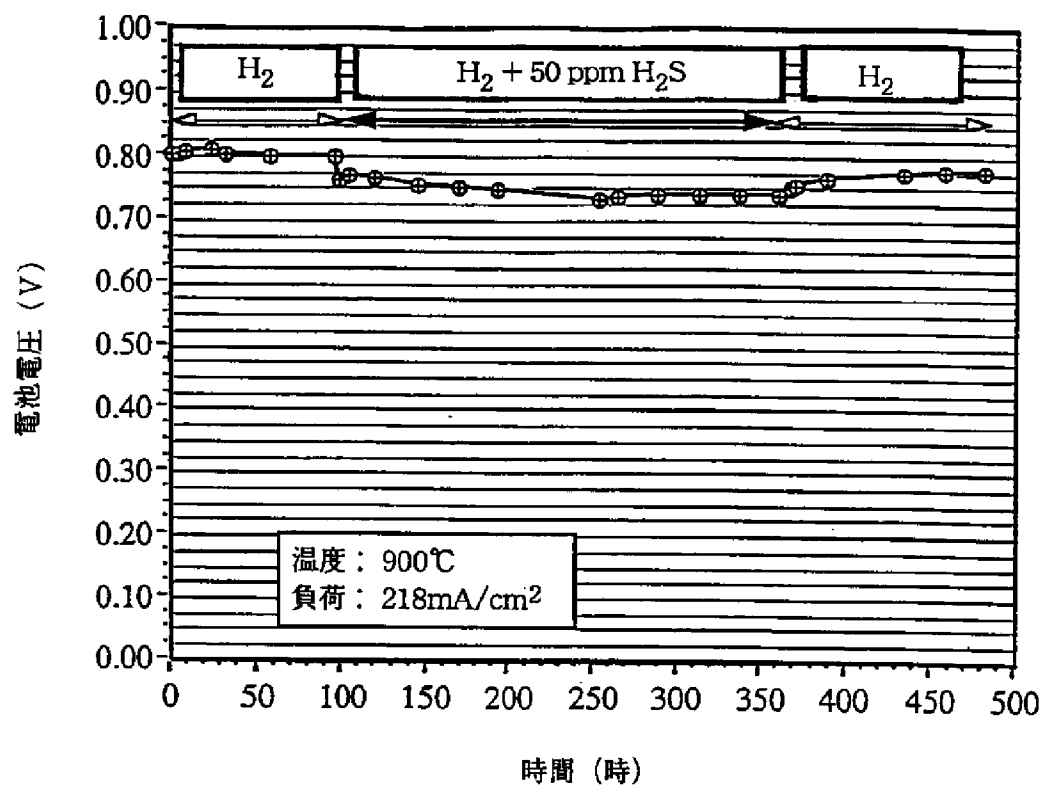
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 アショック チャンドラシエクハー カン
ドカー
アメリカ合衆国 ユタ州 84109 ソルト
レークシティー サウスレイクラインドラ
イブ 2116

(72)発明者 インソー ベイ
アメリカ合衆国 ユタ州 84093 サンデ
ィー ヴィレッジポイントウェイ 2036
(72)発明者 マーク ティンパー
アメリカ合衆国 ユタ州 84109 ソルト
レークシティー 2700 S. 2029 E.